

УДК 669.074:621.311

DOI: 10.15587/1729-4061.2019.156129

Розробка інтегральної системи тригенерації для «сонячного будинку» в країнах Близького Сходу

Л. И. Морозюк, А. Э. Денисова, Алхемірі Саад Альдін

Напрямом дослідження є синтез системи тригенерації для «сонячного будинку» на базі автономної малої сонячної фотоелектричної станції, здатної задовольнити приватних споживачів цілорічним отриманням електроенергії, тепла та холоду.

Для аналізу використано кліматичні дані країн Близького Сходу Ірану, Саудівської Аравії, Об'єднаних Арабських Еміратів, Туреччини, Сирії, Іраку. Визначено денні та нічні температури повітря на протязі року у різних регіонах вказаних країн та сумарну добову радіацію, яка надходить на горизонтальну поверхню територій. Одержані результати визначили, що уся територія Близького Сходу придатна для розвитку сонячного енергопостачання. Сезонні та добові коливання температури повітря потребують цілорічне використання штучного холоду для кондиціювання та опалення житлових приміщень. На підставі проведеного аналізу синтезовано узагальнене схемне рішення малої інтегральної системи тригенерації, яка базується на фотоелектричній сонячній станції. Гаряче водопостачання забезпечують додаткові сонячні колектори з водонагрівачем-акумулятором. Кондиціювання повітря та опалення здійснює холодильна машина. Терміни зміни режимів визначаються температурою навколишнього середовища, яка не співпадає з комфортною в конкретному приміщенні. Температурний режим в приміщенні підтримує потік свіжого повітря з системи активної вентиляції, охолоджений або підігрітий в теплообмінних апаратах машини. Для узгодження роботи всіх елементів системи розроблено інструментарій для визначення теплових навантажень та температурних режимів у приміщенні та елементах системи тригенерації. Дослідження дозволяє стверджувати, що «Сонячні будинки» здатні вирішувати енергетичні, екологічні проблеми регіонів, забезпечити соціальні потреби населення країн Близького Сходу

Ключові слова: сонячний будинок, фотоелектрична станція, тригенерація, компресорна холодильна машина, активна вентиляція

1. Вступ

Конференція ЮНЕСКО в липні 1973 року в Парижі пройшла під девізом «Сонце на службі у людини». Було сформульовано цілковито точну інформацію про стан сонячної енергетики в світі: сонячна енергія з об'єкта наукових досліджень стала новою галуззю індустрії, важливішою справою для всього людства. До неї мають професійний інтерес науковці, інженери, будівельники, енергетики та життєвий – приватні споживачі, які повинні платити за перевитрати енергії.

Реалізованих проектів використання сонячної енергії в світі досить багато. Вони мають практичний вихід в країнах з теплим кліматом (США, Японія, Індія), в країнах з помірним кліматом (Франція, Англія, Німеччина) та у багатьох північних регіонах (Швеція, Фінляндія, Канада, Аляска) [1]. Темп розвитку сонячної енергетики у всьому світі різко зростає. Всесвітня сонячна комісія при ООН прийняла десятирічну програму розвитку світової геліоенергетики, рекомендовану для реалізації у всіх країнах [2].

Якщо говорити про Близький Схід, то, за оцінками експертів, цей регіон має один з кращих природних потенціалів в галузі фотоенергетики, оскільки більшість країн даного регіону має великі площі незаселеної території під дією інтенсивного і тривалого сонячного світла. У той же час, сонячна енергія в даному регіоні використовується недостатньо широко [3]. Незалежно від причин, присутніх в кожній окремій країні, сонячна енергетика починає займати нішу на близькосхідних ринках електроенергії. У довгостроковій перспективі немає сумнівів, що сонячна енергія виграватиме дуже важливу роль в енергетичному балансі цього регіону. Масштаби і терміни зростання сонячного ринку залежать від багатьох факторів. Беручи до уваги невизначеність, яка зараз присутня на ринках сонячної енергетики країн Близького Сходу, можна сказати, що актуальними слід вважати дослідження, спрямовані на довгостроковий розвиток цього енергетичного сектору.

Розвиток сонячної енергетики йде за напрямками: перетворення сонячної в теплову енергію для опалення та гарячого водопостачання та пряме перетворення сонячної в електричну енергію (фотоелектричні перетворювачі). Створені на основі сонячної енергії системи тепло-, холодо- та енергозабезпечення (тригенерація) раціонально інтегрують можливості системи охолодження та кондиціювання повітря. Необхідно відзначити, що цілорічне кондиціювання повітря (сезонне опалення та охолодження) є споживачем першого порядку в багатьох країнах світу і забезпечує стабільну роботу системи тригенерації.

За останні двадцять років інтенсивно розвивається науково-технічна ідея «сонячної будівлі» (SOLAR_HOUSE) – будівельних комплексів від приватного котеджу до невеликого поселення або готелю, енергетичні потреби яких забезпечує Сонце. Оснащена спеціальною сонячною установкою, будівля може повністю забезпечити себе енергією. Головним досягненням «сонячного» будівництва усі фахівці вважають соціально-екологічний ефект.

У багатьох передових країнах розвиток "сонячного" будівництва є одним з напрямків державної політики. Створені великі фірми, що займаються будівництвом таких будинків. Різноманітність конструкцій сонячних систем зумовило появу спеціалізованих підприємств, що випускають для них обладнання і матеріали. Питаннями енергозберігаючого будівництва займаються ЮНЕСКО, Європейська комісія ООН, Департамент енергії США. Створена і успішно діє всесвітня організація з розвитку і поширенню енергетичних технологій Міжнародне товариство по сонячній енергії ISES.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

«Сонячні будинки» класифіковані за типом застосованої сонячної енергетичної системи [4]:

- з пасивною геліосистемою;
- з активною;
- з активною, яка має тепловий насос.

До «сонячних будинків» з пасивною сонячною системою відносять лише ті житлові будівлі, які використовують сонячну енергію для опалення та гарячого водопостачання. Пасивна система сонячного опалення заснована на безпосередньому обігріві сонячними променями і на природній циркуляції повітря.

Активна система являє собою інженерну систему, що складається з таких основних компонентів: приймача і перетворювача сонячної енергії в теплову; акумулятора тепла; приладу опалення; системи розподілу тепла.

Активна система відрізняється багатофункціональністю. Її можна використовувати для опалення, охолодження та гарячого водопостачання. Охолодження здійснюється абсорбційними холодильними машинами, первинною енергією для яких є теплова. Це стало однією з переваг будинків з активною системою. У будинках немає певних вимог до взаємного розташування приміщень. Однак архітектура визначається характером розміщення сонячних батарей по відношенню до об'ємної структури будівлі.

З групи з активною системою сонячного опалення виділено геліобудинки зі змішаною системою (активна+пасивна) і названо її інтегральною [5]. Геліобудинки з інтегральною системою мають свою специфіку, характерне об'ємно-планувальне рішення житла, властиве групі як з пасивною, так і з активною системою. У будинках з інтегральною системою ефективність і гнучкість активної системи поєднується з надійністю і простотою пасивної системи.

Для експлуатації «сонячних будинків» в теплі сезони року потрібна посилена природна вентиляція будівлі для захисту від перегріву. В роботі мітяться рекомендації щодо повітрообміну, який встановлено 0,5 від загального об'єму будівлі на годину. Хороша організація повітряних потоків в будівлі здійснюється за рахунок природної конвекції. Це досягається створенням вертикальних повітряних потоків. Використання принципу «сонячної труби» покладено в основу всіх конструктивних рішень.

До активної системи належить віднести будівлі з сонячними фотоелектричними енергетичними установками. Регульовальна автоматика, комп'ютер, керуючий тепловим і світловим режимами будинку, і інша високоефективна техніка забезпечує максимальне засвоєння сонячної енергії. Однією з проблем, що стримують широке використання фотоелектрики, є порівняно висока вартість фотоелектричних пристроїв.

В роботі [6] виконано термодинамічний та економічний аналіз використання сонячних тепловикористальних абсорбційних чилерів та компресорних з приводом від фотоелектричної станції холодопродуктивністю 10 кВт/на добу для комерційних споживачів. В порівнянні задіяні три типи

абсорбційних машин з різним температурним потенціалом сонячних колекторів, водяним та повітряним охолодженням відповідних теплообмінних апаратів. Термодинамічний аналіз висвітлив високу термодинамічну ефективність компресорної машини за COP показником, економічний – надав переваги двоступеневій абсорбційній за OSE (Overall System Efficiency). Введення в аналіз нових цін на фотоелектричні перетворювачі та підвищені значення їх ефективності надало переваги за OSE фотоелектричним технологіям з компресорними чілерами з повітряним охолодженням теплообмінних апаратів.

Фотоелектричні системи розподілені на два основних типи: автономні і сполучені з промисловою електричною мережею. Автономні системи, за інформацією роботи [7], забезпечують електропостачанням пересувні або віддалені від основних ліній електропостачання об'єкти. Мала фотоелектрична станція виробляє електроенергію тільки в світлий час доби. Для запасу на ніч використовується акумуляторна батарея. Автономна фотоелектрична станція забезпечує стабільне цілодобове енергопостачання приватному споживачеві освітлення, користування побутовою технікою, кондиціонування повітря та опалення в житловому приміщенні в умовах відсутності централізованого енергопостачання. При частих перебоях в центральних мережах електропостачання автономна сонячна система з прямим перетворенням енергії використовується як аварійне джерело енергії.

«Сонячні будинки» базуються на автономній сонячній системі електропостачання. Система складається з таких компонентів: сонячної батареї необхідної потужності з фотоелектричних модулів; контролера заряду акумуляторної батареї; батареї акумуляторів; інвертора, що перетворює постійний струм в змінний для живлення побутових електроприладів.

Наявність електричної енергії сприяє створенню системи тригенерації з отриманням тепла та холоду з залученням компресорних холодильних машин та теплових насосів. В такому випадку «сонячний будинок» набуває статусу інтегральної системи тригенерації з єдиним типом первинної енергії – сонячної. «Сонячні будинки» можна віднести до малої автономної енергетики, головною ознакою якої є незалежність від регіональних енергетичних компаній, монополістів на ринку. З останніх років автори звертають увагу на декілька достатньо авторитетних досліджень з питань запровадження сонячної фотоелектрики для виробництва холоду та кондиціонування повітря з використанням компресорних холодильних машин.

В роботі [8] розглянуто кондиціонер з компресорною холодильною машиною з приводом від автономної фотоелектричної енергетичної установки. В схему кондиціонера включено акумулятор водяного льоду, насос та фанкойл. Експериментально досліджені дві робочі моделі фотоелектричної установки: одна з контролером та інвертором, друга – з додатковою акумуляторною батареєю. Блоки сонячних модулів забезпечували роботу системи кондиціонування при великих пускових токах та роботу льодоакумулятора при зупинці роботи холодильної машини. Результати дослідження показали, що сонячна енергія, яку прийняли фотоелектричні модулі, була повністю засвоєна

акумулятором льоду. Зокрема, на думку авторів, аналіз результатів експерименту показав, що «зберігати» сонячну енергію з автономним фотоелектричним охолодженням доцільно в акумуляторі водяного льоду замість акумуляторної батареї.

В роботі [9] розглянуто системи опалення та охолодження для житлових та комунальних будівель в Південній та Північній Європі на сонячній енергії та перспективних альтернативних джерелах енергії. Зроблено висновок, що цикли компресорних холодильних машин з приводом від фотоелектричних станцій мають найбільш економічно вигідні рішення за рахунок високої термодинамічної досконалості машини. Другим кращим варіантом визнаний привід від параболічного сонячного колектора або двигуна Стирлінга. Звернуто увагу на те, що інвестиції в системи з сонячним приводом менші, якщо в холодильній машині повітряні теплообмінні апарати,

Дослідження в роботі [10] було проведено для оцінки техніко-економічного потенціалу перетворення звичайного побутового холодильника з змінним струмом на постійний з приводом безпосередньо від фотоелектричної установки без інвертора. Основні висновки, отримані з цієї роботи, становлять таке. В холодильнику за заміною двигунів залишаються постійними температурні режими та холодопродуктивність. Експериментальні вимірювання пускової потужності, яку споживає двигун змінного струму, показує високі скачки в 2...3 рази більші в порівнянні з відносно малою імпульсною потужністю компресора з постійним струмом. Висока імпульсна потужність компресора змінного струму потребує високу продуктивність інверторів і, отже, високу вартість системи для запуску холодильника змінного струму на сонячній фотоелектричній системі. Результати роботи свідчать, що застосування холодильних машин з компресорами постійного струму мають потенціал зниження загальної вартості фотоелектричної установки, приблизно на 18 %

Розглянуті роботи і дослідження торкаються однієї важливої проблеми – взаємодії характеристик автономної фотоелектричної установки з характеристиками компресорної машини. Йдеться про типи двигунів компресорів з постійним та змінним струмом, які і впливають на енергетичні та економічні показники всієї системи. Термодинамічні цикли холодильних машин розглядаються на рівні теоретичних (циклу Планка) в режимах помірних температур та малих потужностей. Інформація щодо сонячних будинків з малими тепловими сонячними установками торкається систем опалення та гарячого водопостачання в умовах помірного клімату. Сонячні будинки з фотоелектричними установками представлені ілюстративним матеріалом розміщення сонячних батарей відносно будівлі та методичними роз'ясненнями до визначення поверхні сонячних батарей.

Розглянута наукова інформація необхідна для розвитку сонячної енергетики, але подальший її розвиток може бути пов'язаний з використанням сонячної фотоелектричної енергетичної установки з цілорічним повним навантаженням на електроенергію, з постійним споживанням холоду та тепла, що визначається кліматичними умовами місцевості. За таких умов може бути

забезпечений істотний екологічний, економічний та соціальний ефект. Таким умовам відповідають території Північної Африки та Близького Сходу з тропічним та різко континентальним кліматом.

3. Мета та завдання дослідження

Мета дослідження – синтез інтегральної системи тригенерації, яка базується на автономній фотоелектричній станції, здатній задовольнити приватних споживачів цілорічним отриманням електроенергії, тепла та холоду.

Для досягнення мети потрібно вирішити такі завдання:

- проаналізувати кліматичні умови країн Близького Сходу;
- сформувати узагальнене схемне рішення малої системи тригенерації;
- розробити інструментарій для визначення теплових навантажень та температурних режимів у приміщенні та елементах системи тригенерації.

4. Аналіз кліматичних умов країн Близького Сходу

Інтенсивність сонячної енергії залежить від географічної широти місцевості, кліматичних умов в різні пори року. В ясний день потік сонячної радіації, що досягає поверхні землі, з урахуванням відбиття, поглинання та розсіювання атмосферою, може досягати 75...90 % поза атмосферного потоку сонячного випромінювання, а в похмуру погоду – 5 %.

Для практичних розрахунків можна рекомендувати дані щодо сумарної добової радіації, яка надходить на горизонтальну поверхню, в різних регіонах країн Близького Сходу [11], табл. 1.

Аналіз наведених даних виділяє три основні типи територій. Території першого типу, які пофарбовано в таблиці червоним кольором, характеризуються енергетичною освітленістю 1250 – 3500 МДж/кв.м. До територій другого типу віднесено ті, що пофарбовані в таблиці помаранчевим, з енергетичною освітленістю 4000–5400 МДж/кВ.м. До територій третього типу віднесено ті, що пофарбовані жовтим, з найбільш високими значеннями енергетичної освітленості 5400–8050 МДж/кВ.м.

Одержані результати доводять, що уся територія Близького Сходу придатна для розвитку сонячного енергопостачання, хоча перевагу в засвоєнні необхідно віддавати територіям, які відносяться до другого і третього типу як найбільш геліоспроможних.

Таблиця 1

Характеристика сонячної радіації для різних регіонів країн Близького Сходу

	Сирія		Об'єднані Арабські Емірати		Саудівська Аравія		Ірак		Туреччина		Іран	
Регіон	Дер-Еззор	Дамаск	Абу-Дабі	Фуджейра	Ріяд	Абха	Ер-Біл	Багдад	Анкара	Стамбул	Тегеран	Машхад
місяць												
1	2.48	3.10	4.30	3.89	3.50	4.74	2.43	3.00	1.86	1.47	2.44	2.33
2	3.40	3.50	5.00	4.84	4.60	4.60	3.21	3.80	2.57	2.23	3.33	3.03

3	4.46	4.60	6.70	5.40	5.10	5.37	4.41	4.80	3.80	3.49	4.08	3.58
4	5.58	5.80	6.70	6.54	5.50	5.62	5.41	5.70	4.51	4.83	5.42	4.42
5	6.84	7.40	7.60	7.49	5.60	5.89	6.64	6.50	5.75	6.35	6.42	6.50
6	8.05	8.00	7.60	7.67	6.10	6.01	7.67	7.30	6.59	7.27	7.64	7.81
7	7.84	7.90	7.00	7.03	6.10	5.52	7.37	7.20	6.89	7.41	7.50	7.64
8	6.94	7.20	6.70	6.60	5.90	5.30	6.69	6.60	6.08	6.33	6.92	7.14
9	5.63	6.10	6.50	6.37	5.70	5.73	5.62	5.70	4.91	4.86	5.75	5.72
10	3.82	4.50	5.70	5.57	5.30	6.02	3.90	4.40	3.35	2.89	4.25	4.11
11	2.53	3.00	4.80	4.51	4.50	5.50	2.77	3.30	2.13	1.75	2.92	2.86
12	2.08	2.30	4.60	3.72	3.60	4.81	2.18	2.70	1.53	1.25	1.53	2.17

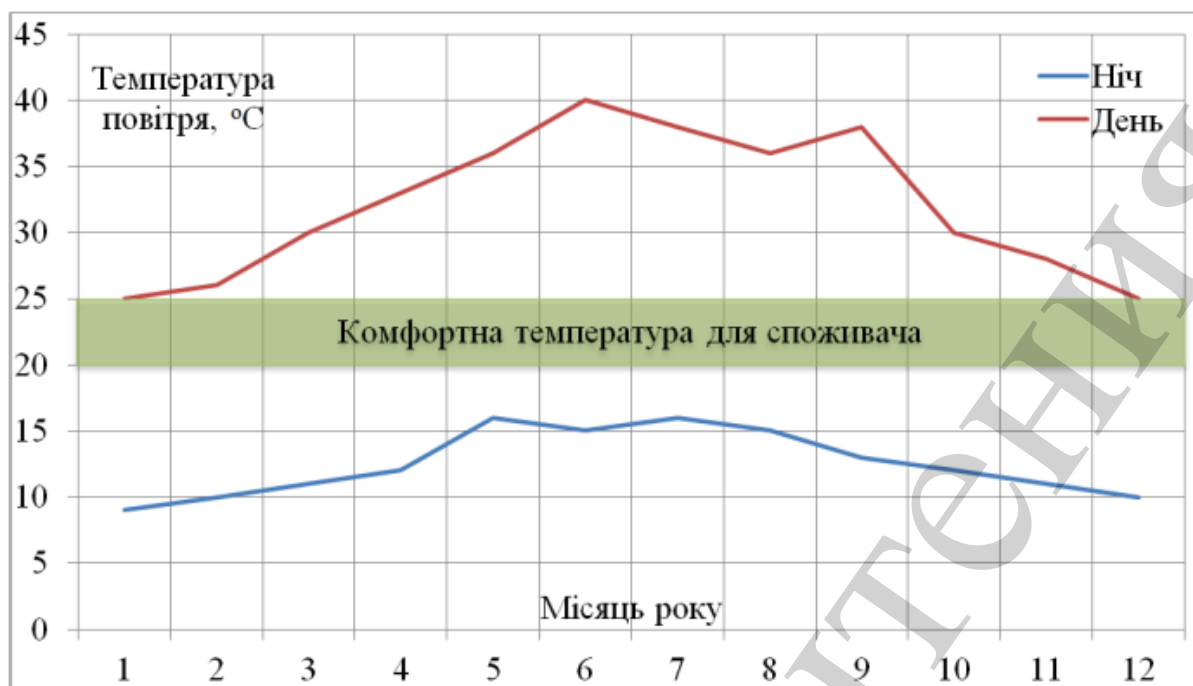
Варто зауважити, в осінньо-зимовий період (з листопада по лютий) території Сирії, Іраку, Ірану та Туреччини відносяться до першого типу освітленості. Об'єднані Арабські Емірати та Саудівська Аравія мають освітленість другого та третього типу на протязі усього року.

Для оцінки геліотехнічних можливостей регіонів важливі не кількісні характеристики потоків променевої енергії, але необхідні відомості щодо енергетичної освітленості, тобто щодо можливості до тривалого використання потоку енергії у геліотехнічних апаратах. Ось чому важливою характеристикою є період, протягом якого сонячного саява вистачає для ефективної роботи геліосистеми. Суттєва різниця спостерігається на початку і в кінці року та в ранкові та вечірні часи діб.. Тобто в осінньо-зимовий період геліотехнічні можливості ряду регіонів Близького Сходу, значно зменшуються.

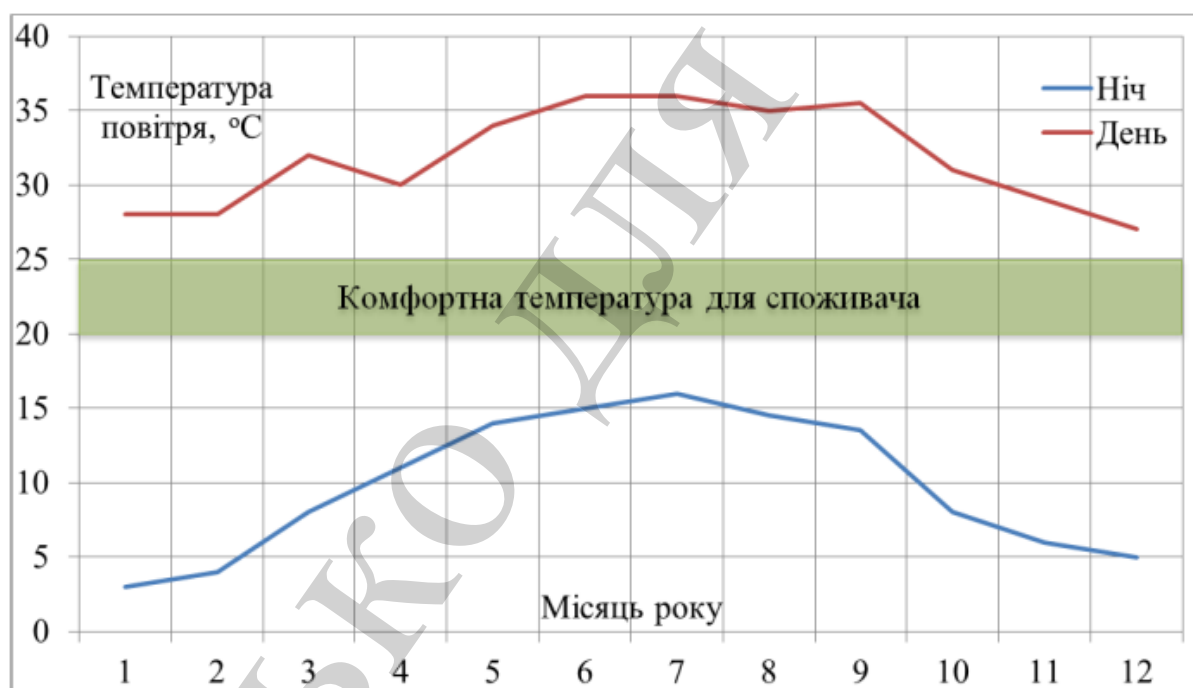
Дуже важливим фактором для роботи геліоустановок окрім тривалості опромінювання сонячною радіацією, є теплова інерція геліосистеми, тобто час розігрівання геліоустановки до робочої температури. Теплова потужність електричної сонячної станції повинна задовольняти потреби конкретного споживача на протязі доби в різні сезони року.

Вибірковий аналіз температурних кліматичних умов в Туреччині, Саудівській Аравії, Об'єднаних Арабських Еміратах, зроблений за даними інформаційного порталу [11] наведено на рис. 1–3. Графічно представлені дані середніх денних та нічних температур на протязі року у двох регіонах вказаних країн у порівнянні з комфортною температурою в житловому приміщенні.

В Саудівській Аравії (рис. 1) денні температури на протязі року вищі за комфортну (20...23 °С), що потребує кондиціювання в приміщеннях. В нічні часи в період з травня по вересень температури зовнішнього повітря близькі до комфортних, в останні періоди для забезпечення комфортного існування потрібне опалення.



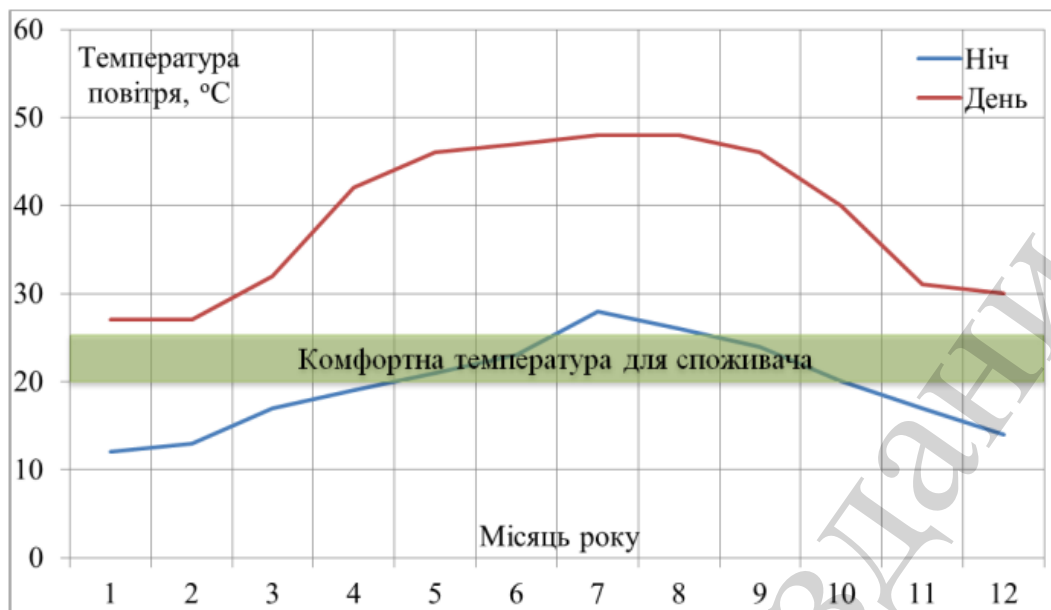
a



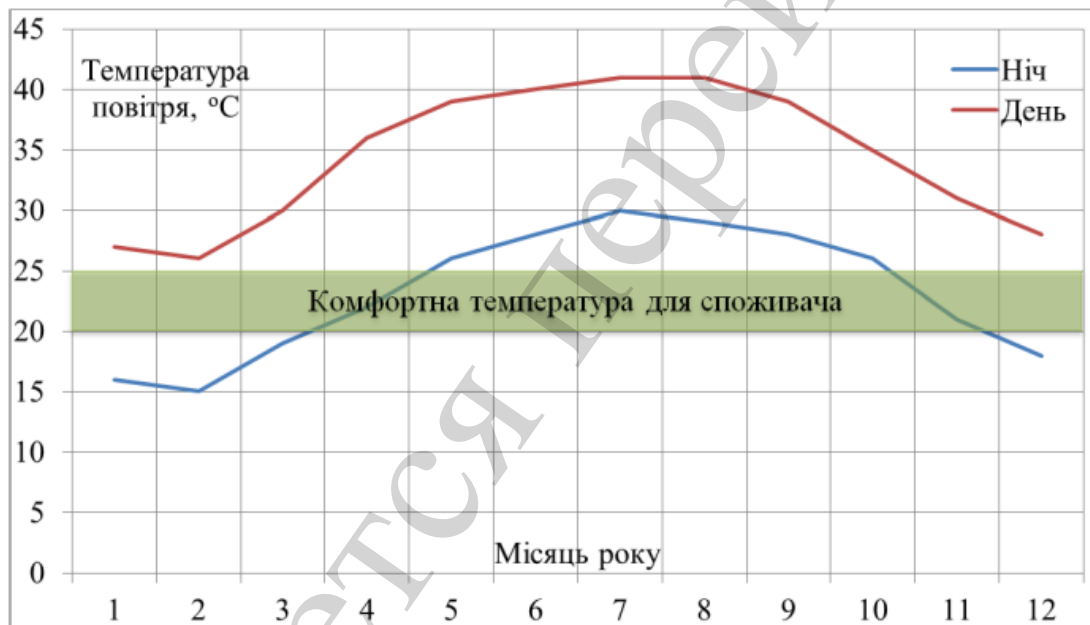
б

Рис. 1. Середні місячні температури повітря в Саудівській Аравії:
a – регіон Абха, *б* – регіон Рияд

В Об'єднаних Арабських Еміратах (рис. 2) з березня до жовтня денні температури вищі за комфортну, з листопада до лютого вони рівні комфортній в усіх регіонах. Нічні температури на протязі року знаходяться в межах комфортної. Для споживачів достатньо кондиціонування повітря в денні часи.



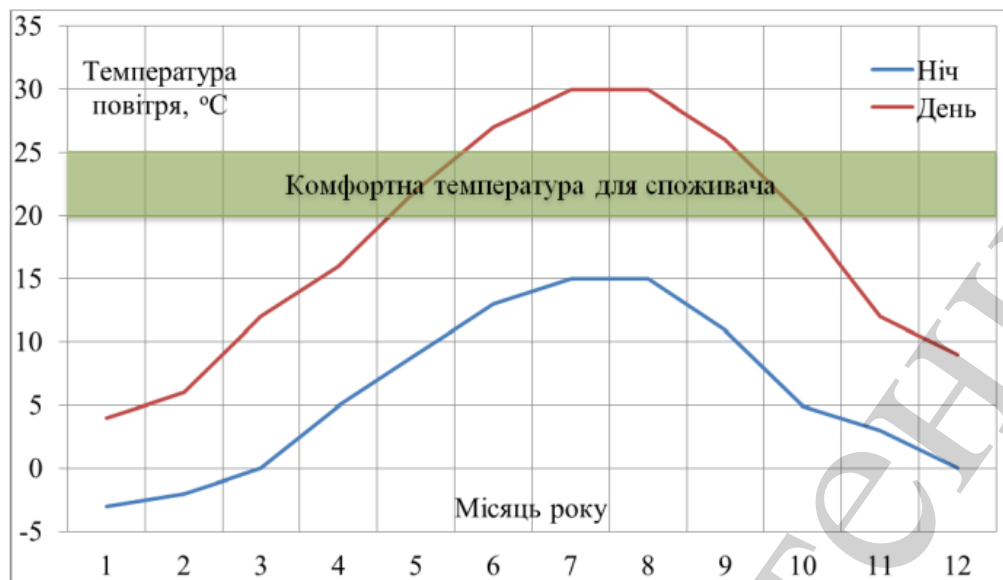
a



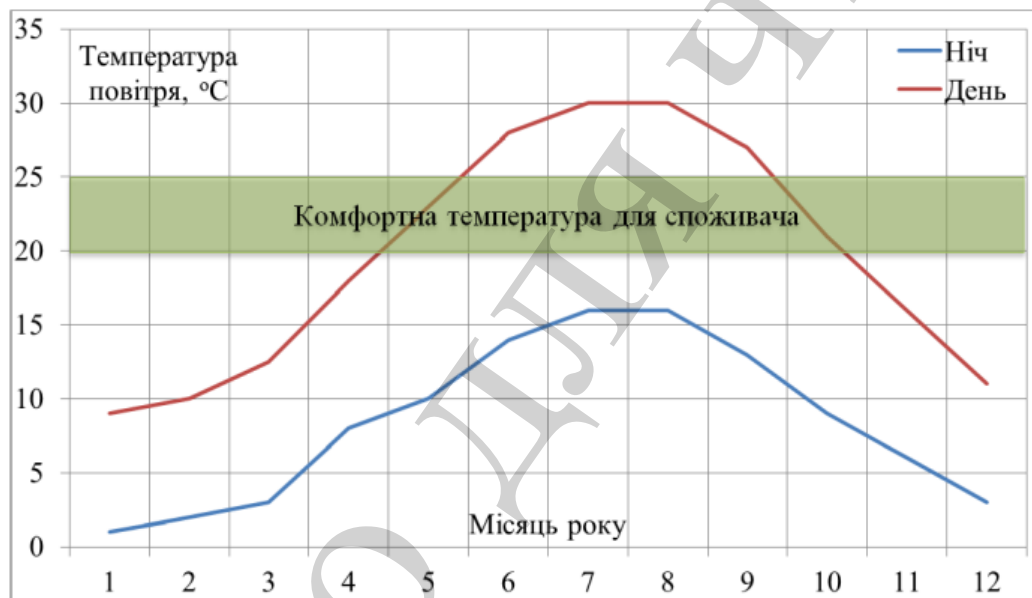
б

Рис. 2. Середні місячні температури повітря в Об'єднаних Арабських Еміратах:
a – регіон Абу-Даби, *б* – регіон Фуджейра

В Туреччині (рис. 3) лише з червня по вересень денні температури перевищують комфортні значення, але максимальні досягають лише 30 °C. В останні періоди року та в нічні часи температури нижчі за комфортну. За таких умов опалення стає необхідним для споживачів.



a



б

Рис. 3. Середні місячні температури повітря в Туреччині:
a – регіон Стамбула, *б* – регіон Анкари

Аналогічні висновки зроблено для всіх країн, в результаті, на більшій території Близького Сходу має сенс створювати сонячні будівлі з системою тригенерації на основі малих сонячних електричних станцій.

5. Узагальнене схемне рішення системи тригенерації

Система тригенерації базується на автономній фотоелектричній сонячній станції малої потужності, в якій раціонально обирається режим роботи шляхом узгодження роботи всіх елементів системи з урахуванням зміни сезонних та добових температур навколишнього повітря на протязі року.

Споживання холоду для кондиціювання повітря здійснюється від холодильної машини. Терміни визначаються температурою навколишнього середовища, яка вища за комфортну в конкретному приміщенні. Періодами споживання вважають жаркі сезони року та денні часи в різні сезони (рис. 1–3).

Споживання тепла на опалення здійснюється від тієї ж холодильної машини, яка працює в режимі теплового насосу. Терміни визначаються температурою навколишнього середовища, яка нижча а комфортну в конкретному приміщенні. Періодами споживання вважають холодні сезони року та холодні нічні часи в різні сезони. Система тепло-холодопостачання від однієї холодильної машини широко відома [12], але має обмеження в використанні [13].

Одним з найефективніших об'єктів для застосування холодильних або теплонасосних технологій є системи вентиляції громадських та житлових приміщень. При малій різниці температур припливного та відпрацьованого повітря досягається висока енергетична ефективність холодильних машин при помірних температурах навколишнього повітря. Якщо температури навколишнього повітря мають великі різниці з температурами в приміщенні, система тепло- та холодопостачання знижує ефективність. В зв'язку з цим великі перспективи має впровадження регенерації тепла між потоками відпрацьованого повітря з приміщення та того, що надходить зовні [14].

Режими тепло- та холодопостачання житлових приміщень залежать від ряду факторів [15]: типу будівлі, характеру інженерно-технічних систем будівлі наявні джерела тепла або холоду. матеріали огорожувальних конструкцій,

Кожен із наведених вище факторів впливає на кількісні й якісні показники теплоти або холоду, що споживаються та співвідношення між типами теплового навантаження споживачів.

В приватних будинках додаткові сонячні колектори, які входять до сонячної станції застосовують для виробництва гарячої води, а наявність водонагрівача-акумулятора дозволяє уникнути негативних наслідків пікових навантажень для приготування гарячої води вранці та ввечері. Якщо будівля має відкритий басейн, можна за рахунок збільшення кількості модулів сонячних колекторів збільшити частку теплоти для його обслуговування [15]. На підставі проведеного аналізу здійснюємо синтез узагальненої технологічної схеми тригенерації «сонячного будинку» (рис. 4).

Процеси опалювання або охолодження приміщення, згідно з рис. 4, здійснюються одноступеневою паровою компресорною холодильною машиною з приводом від електродвигуна та складається з чотирьох головних елементів: компресора, конденсатора, повітроохолоджувача (випарника) та дроселя.

Робочі режими для реалізації кондиціювання або опалення змінюються в залежності від температури навколишнього середовища автоматичним регулюванням визначених параметрів робочої речовини. Повітряний конденсатор та повітроохолоджувач (випарник) виконують свої функції незалежно від режимів, Температурний режим в приміщенні підтримує потік свіжого повітря з системи активної вентиляції, охолоджений або підігрітий в теплообмінних апаратах машини.

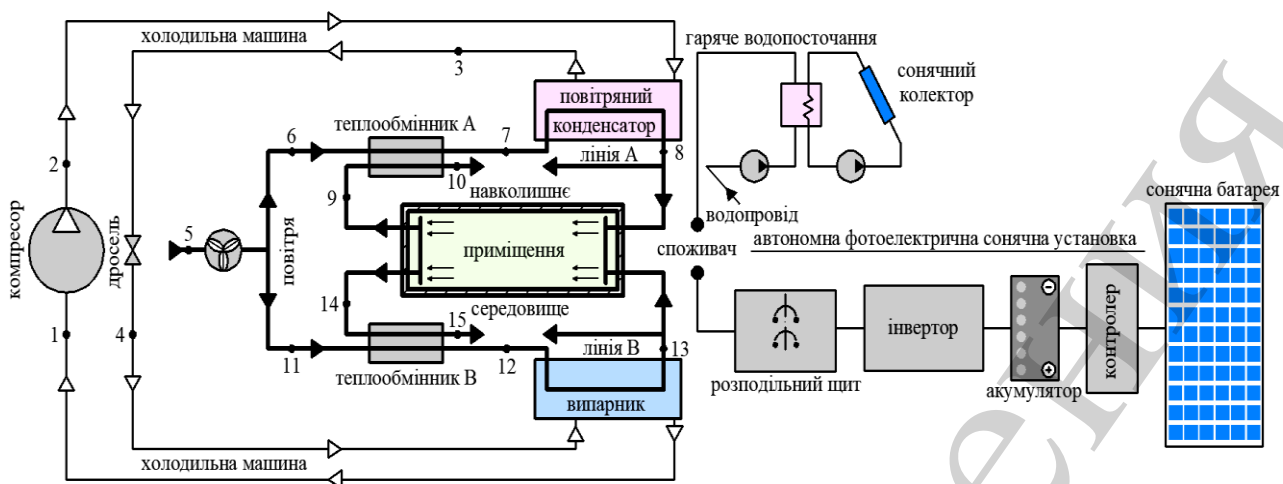


Рис. 4. Узагальнена технологічна схема малої системи тригенерації

Потік свіжого повітря (точка 5) вентилятором подається у двох напрямках: до конденсатора (точка 6) та випарника (точка 11) холодильної машини.

В режимі кондиціювання потік охолодженого повітря після теплообмінника В (точка 12) та випарника (точка 13) подається у приміщення через припливну лінію вентиляції. Підігріте повітря виходить з приміщення (точка 14) через витяжну лінію. Після теплообмінника В (точка 15) повітря надходить у навколишнє середовище.

В режимі опалювання потік підігрітого повітря після теплообмінника А (точка 7) та конденсатора (точка 8) прямує до приміщення, опалює його та виходить (точка 9). Через теплообмінник А (точка 10) повітря повертається в навколишнє середовище.

В обох режимах потоки, які не приймають участі в здійсненні корисних ефектів в приміщенні (охолодження або підігрівання), за технологічною схемою рухаються транзитом через відповідні теплообмінні апарати, діють в циклі холодильної машини та через лінію А і лінію В повертаються в навколишнє середовище. Технологічна схема забезпечує подавання свіжого повітря в приміщення. Холодильне обладнання знаходиться поза приміщенням, розміщено єдиним блоком у корпусі для захисту від зовнішнього впливу. До самої машини є можливість підібрати додаткове оснащення для індивідуального регулювання параметрів системи всієї будівлі в цілорічному циклі.

6. Інструментарій для визначення теплових навантажень та температурних режимів у приміщенні та елементах системи тригенерації

Взаємодію енергетичних потоків демонструють рис. 5, 6 в системі координат «Температура – тепловий потік».

6.1. Енергетичні потоки в блоці «приміщення – холодильна машина»

Термодинамічний аналіз робочих режимів в теплообмінних апаратах надано на конкретному прикладі. Для аналізу використано середньо статистичні дані з температурних кліматичних умов країн Близького Сходу.

Середні температурні напори в апаратах прийнято у відповідності до теорії теплопередавання в холодильній та теплонасосній техніці.

Температури в вузлових точках технологічної схеми надано в табл. 2.

Таблиця 2

Температури в вузлових точках схеми

Точка	Найменування параметру	Темпер. режим кондиц., $T, ^\circ\text{C}$	Темпер. режим опален., $T, ^\circ\text{C}$
<i>Робоча речовина холодильної машини</i>			
1	Температура на всмоктуванні в компресор	15	-5
2	Температура на нагнітанні компресора	—	—
3	Температура конденсації робочої речовини	50	30
4	Температура кипіння робочої речовини	15	-5
<i>Вентиляційне повітря</i>			
5	Температура навколишнього повітря	40	10
6	Температура на вході в теплообмінник А	40	10
7	Температура на вході в конденсатор	40	15
8	Температура на виході з конденсатора	45	24
9	Температура на виході з приміщення	—	20
10	Температура на виході з теплообмінника А	—	15
11	Температура на вході в теплообмінник В	40	—
12	Температура на вході в повітроохолоджувач	30	—
13	Температура на виході з повітроохолоджувача	20	2
14	Температура на виході з приміщення	24	—
15	Температура на виході з теплообмінника В	34	—
	<i>Комфортна температура в приміщенні</i>	23	23

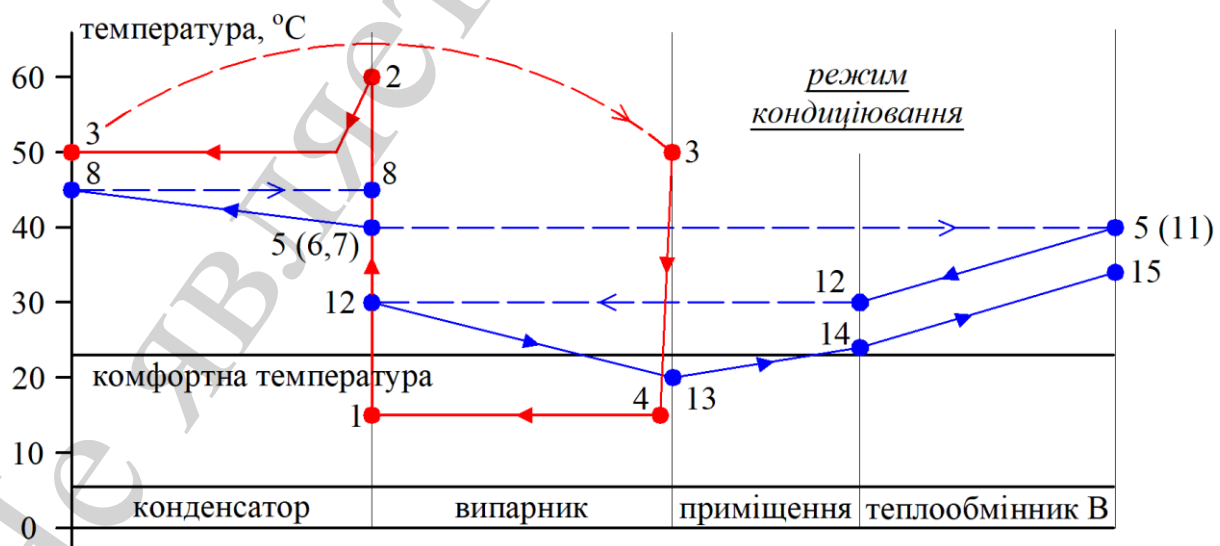


Рис. 5. Енергетичні потоки в системі «приміщення – холодильна машина» в режимі кондиціювання повітря

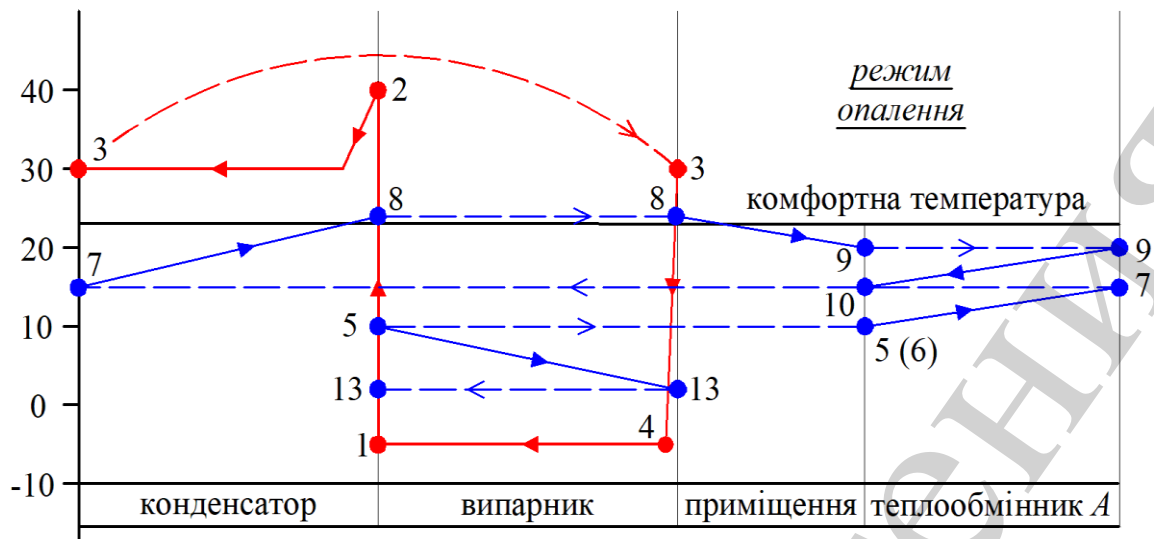


Рис. 6. Енергетичні потоки в системі «приміщення – холодильна машина» в режимі опалення

Аналіз рис. 6 дозволяє стверджувати, що утилізацію тепла повітря, що виходить з приміщення, варто розглядати як головне джерело зниження експлуатаційних витрат на теплову обробку зовнішнього припливного повітря в системах опалення та кондиціювання повітря приміщень.

6. 2. Енергетичні ресурси в сонячній енергетичній установці

Для розрахунку фотоелектричної установки для будинку необхідно визначити навантаження і споживану енергію. Для визначення витрати електроенергії потрібні довідки, де є інформація про всі джерела споживання електроенергії, головним чином, для основної побутової техніки. Енергетичні витрати повинно оптимізувати.

В системі, що розглядається, витрати на кондиціювання та опалення приміщення враховуються окремо. Енергетичний баланс побутового енергоспоживання може бути представленим у вигляді математичного рівняння

$$W_{\text{сфс}} = \sum W_i \tau_i + W_{\text{хм}} + W_{\text{вент}}, \quad (1)$$

де $W_{\text{сфс}}$ – енергетична потужність сонячної фотоелектричної станції; W_i – енергетична потужність кожного споживача в будинку; τ_i – термін роботи на протязі доби, год/доб; $W_{\text{хм}}$ – енергетична потужність холодильної машини; $W_{\text{вент}}$ – енергетична потужність вентилятора.

Найбільш поширені модулі (з монокристалічного кремнію) мають одиничну потужність $w_1=100\ldots120\text{Вт/м}^2$. Отже, площа $F_{\text{сфс}}$, яку займає станція для забезпечення побуту, становить

$$F_{\text{сфс}} = W_{\text{сфс}} / w_1. \quad (2)$$

Розміщення сонячних батарей здійснюється за погодженням з споживачем.

6. 3. Енергетичні потоки в житловому приміщенні

Для режиму кондиціювання враховують зовнішні теплові потоки від сонячної радіації $Q_{\text{рад}}$, через зовнішню огорожу приміщення $Q_{\text{огор}}$, від людей $Q_{\text{л}}$, електроприладів $Q_{\text{ел}}$. Загальний енергетичний потік $Q_{\text{заг}}^{\text{конд}}$ становить

$$Q_{\text{заг}}^{\text{конд}} = Q_{\text{рад}} + Q_{\text{огор}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{ел}}. \quad (3)$$

Для режиму опалення у житлових будівлях тепловтрати приміщень складаються з тепловтрат $Q_{\text{огор}}$ через різні огорожувальні конструкції, на нагрівання повітря $Q_{\text{інф}}$, який інфільтрується крізь нещільності в захисних конструкціях даного приміщення. У якості теплоприпливів $Q_{\text{ел}}$ враховуються усі побутові електричні прилади, освітлення, інші можливі джерела тепла, Загальні розрахункові тепловтрати $Q_{\text{заг}}^{\text{опал}}$ в приміщенні:

$$Q_{\text{заг}}^{\text{опал}} = Q_{\text{огор}} + Q_{\text{інф}} - Q_{\text{ел}}. \dots \quad (4)$$

6. 4. Енергетичні баланси елементів системи тригенерації

В режимі кондиціювання:

енергетичний баланс приміщення:

$$Q_{\text{заг}}^{\text{конд}} = M_1 c_{\text{п}} (T_{14} - T_{13}). \quad (5)$$

енергетичний баланс повітроохолоджувача:

$$Q_o^{\text{конд}} = M_{\text{рк}} q_o = M_2 c_{\text{п}} (T_{12} - T_{13}). \quad (6)$$

енергетичний баланс конденсатора:

$$Q_{\text{к}}^{\text{конд}} = M_{\text{рк}} q_{\text{к}} = M_3 c_{\text{п}} (T_8 - T_7). \quad (7)$$

теоретична об'ємна продуктивність компресора:

$$V_h^{\text{конд}} = Q_o^{\text{конд}} / \lambda q_v, \quad (8)$$

об'ємна витрата повітря через вентилятор:

$$V_{\text{п}}^{\text{конд}} = (M_2 + M_3) / \rho_{\text{п}}. \quad (9)$$

енергетичний баланс приміщення:

$$Q_{\text{заг}}^{\text{опал}} = M_1 c_{\text{п}} (T_8 - T_9). \quad (10)$$

енергетичний баланс конденсатора:

$$Q_{\text{к}}^{\text{опал}} = M_{\text{ро}} q_{\text{к}} = M_3 c_{\text{п}} (T_8 - T_7). \quad (11)$$

енергетичний баланс повітроохолоджувача:

$$Q_{\text{о}}^{\text{опал}} = M_{\text{ро}} q_{\text{о}} = M_2 c_{\text{п}} (T_5 - T_{13}). \quad (12)$$

теоретична об'ємна продуктивність компресора:

$$V_h^{\text{опал}} = Q_{\text{о}}^{\text{опал}} / \lambda q_v, \quad (13)$$

об'ємна витрата повітря через вентилятор:

$$V_{\text{п}}^{\text{опал}} = (M_2 + M_3) / \rho_{\text{п}}. \quad (14)$$

В рівняннях(5)–(14) означено: M_1, M_2, M_3 – масові витрати повітря через приміщення, випарник та конденсатор відповідно; $M_{\text{ро}}, M_{\text{рк}}$ – масові витрати робочої речовини через повітроохолоджувач та конденсатор відповідно; $q_{\text{о}}, q_{\text{к}}, q_v$ – питомі характеристики циклу холодильної машини; λ – коефіцієнт подавання компресора; $c_{\text{п}}, \rho_{\text{п}}$ – теплоємність та густина повітря.

Розрахунки характеристик елементів системи тригенерації виконуються за відповідними рівняннями із залученням математичних залежностей з відповідних розділів робіт [16, 17]. Для вибору холодильного устаткування необхідно дотримуватися рекомендацій: обирати більші значення з двох розрахункових $V_h^{\text{опал}}$ та $V_h^{\text{конд}}$, $V_{\text{п}}^{\text{конд}}$ та $V_{\text{п}}^{\text{опал}}$.

7. Обговорення результатів синтезу узагальненого схемного рішення системи тригенерації для «сонячного будинку»

При синтезі схемного рішення системи тригенерації, що витікає з отриманих результатів (рис. 4), створення сонячного будинку базується на наявності автономної сонячної фотоелектричної станції. Кліматичні умови території, на якій передбачається будівництво, повинні забезпечувати цілорічне постійне виробництво та споживання холоду та тепла. Для житлових приміщень йде мова про кондиціювання повітря та опалення. Такі умови властиві країнам Близького Сходу: інтенсивна сонячна радіація на протязі всього року, існуюча різниця температур навколишнього середовища в різні

сезони року та значні коливання температур в денні та нічні часи. Кліматичні умови поєднуються з політико-економічними показниками країн, проблемами централізованого енергопостачання та новими енергетичними проектами великих фотоелектричних станцій.

Розташування всього устаткування поза житлового приміщення спрощує обслуговування, розширює можливості модернізації системи, забезпечення екологічної чистоти в приміщенні, покращення соціальних умов життя людей.

Дослідження можна віднести до стратегічних проектів і розглядається авторами як початковий етап в створенні «сонячних будинків» нового покоління. Більшість «сонячних будинків» мають лише систему опалення та гарячого водопостачання. Таке положення обмежує дослідження, оскільки відсутнє підтвердження раціональності технічного рішення, яке пропонується. Виробництво двох корисних ефектів в єдиній машині не дозволило авторам оцінити термодинамічну досконалість системи існуючими методами. Потрібне продовження дослідження з залученням термoeкономічних підходів.

8. Висновки

1. Проведеними дослідженнями встановлено, що клімат країн Близького Сходу повністю відповідає умовам створення «сонячного будинку». Інтегральна система тригенерації, яка базується на автономній сонячній фотоелектричній станції, здатна забезпечити жителів сонячного будинку електроенергією, кондиціонуванням та опаленням приміщень в залежності від сезонних та добових коливань температури навколишнього повітря на протязі цілого року.

2. Особливості узагальненої схеми полягають в тому, що вона містить одну одноступеневу холодильну машину та систему активної вентиляції, холодильне устаткування розміщено поза житловим приміщенням.

Температурний режим в приміщенні підтримує потік свіжого повітря з системи активної вентиляції, охолоджений або підігрітий в теплообмінних апаратах машини. Завдяки такій схемі спрощується обслуговування системи, знижуються експлуатаційні витрати на теплову обробку зовнішнього припливного повітря та забезпечується екологічна чистота житлового приміщення.

3. Дослідження дозволяє стверджувати, що «Сонячний будинок» з системою тригенерації на базі автономної сонячної фотоелектричної станції є новим науково-технічним рішенням для реалізації ідеї забезпечення енергетичних, соціально-екологічних потреб населення регіонів Близького Сходу.

Література

1. Ключев П. Г. Солнечная энергетика: 2014. 2010. URL: http://www.nanometer.ru/2010/08/23/12825909129704_216802.html
2. Ghafoor A., Munir A. Worldwide overview of solar thermal cooling technologies // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 43. P. 763–774. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.073>

3. Страны ОПЕК делают ставку на солнечную генерацию. 2017. URL: <https://eadaaily.com/ru/news/2017/04/06/strany-opek-delayut-stavku-na-solnechnuyu-generaciyu>
4. Амерханов Р. А., Драганов Б. Х. Теплотехника: учеб. для вузов, 2-е изд., перераб. и доп. М., 2006. 432 с.
5. Проектирование солнечного дома. URL: <http://www.mensh.ru/articles/proektirovanie-solnechnogo-doma>
6. Lazzarin R. M. Solar cooling: PV or thermal? A thermodynamic and economical analysis // International Journal of Refrigeration. 2014. Vol. 39. P. 38–47. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.05.012>
7. Принцип работы автономной фотоэлектрической станции. URL: <http://www.vorobiov.com/archive/domikpro/detail-printsip-raboty-avtonomnoy-fotoelektricheskoy-stantsii.html>
8. Experimental investigation of solar photovoltaic operated ice thermal storage air-conditioning system / Xu Y., Li M., Luo X., Ma X., Wang Y., Li G., Hassanien R. H. E. // International Journal of Refrigeration. 2018. Vol. 86. P. 258–272. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.11.035>
9. Infante Ferreira C., Kim D.-S. Techno-economic review of solar cooling technologies based on location-specific data // International Journal of Refrigeration. 2014. Vol. 39. P. 23–37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.09.033>
10. Comparative techno-economic assessment of a converted DC refrigerator and a conventional AC refrigerator both powered by solar PV / Opoku R., Anane S., Edwin I. A., Adaramola M. S., Seidu R. // International Journal of Refrigeration. 2016. Vol. 72. P. 1–11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2016.08.014>
11. Energy Resources. URL: <https://www.nrcan.gc.ca/energy/resources>
12. Настенные сплит-системы Mitsubishi Electric MSZ-FH25VE / MUZ-FH25VEHZ Inverter. URL: https://tdkomfort.ru/shop/nastennye_split_sistemy_mitsubishi_electric_msz_fh25ve_muz_fh25ve_inverter.html
13. Схемно-конструктивні та технологічні особливості систем тригенерації для умов Близького Сходу / Денисова А. Є., Морозюк Л. І., Алхемірі Саад Альдін, Цуркан А. В. // Вісник національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. 2018. № 40. С. 10–16. doi: <https://doi.org/10.20998/2220-4784.2018.40.02>
14. Безродний М. К., Притула Н. О. Енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання. К.: НТУУ «КПІ», 2012. 208 с.
15. Порівняльний аналіз систем децентралізованого теплопостачання житлових будівель із використанням електроенергії / Мазуренко А. С., Климчук О. А., Шраменко О. М., Сичова О. А. // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2014. Т. 5, № 8 (71). С. 21–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.28012>
16. Строй А. Ф., Колодяжный В. В. Расчет и проектирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Киев: Издательство «Феникс», 2014. 343 с.
17. Морозюк Т. В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. Одесса: Студия «Негоциант», 2006. 712 с.